

УДК 621.438

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**С. В. Богданец<sup>1</sup>, В. Л. Блинов<sup>2</sup>, А. И. Плотников<sup>3</sup>, А. Д. Куракин<sup>4</sup>,  
А. А. Лебедев<sup>5</sup>, Е. Е. Пясецкий<sup>6</sup>, К. А. Зотов<sup>7</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>3,4</sup> Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

<sup>5,6,7</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> v.l.blinov@urfu.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрено понятие цифрового двойника технического устройства и видение настоящего вопроса различными компаниями. Проанализированы особенности применения цифровых двойников газотурбинных установок. Сформулированы основные цели и задачи, которые должен решать цифровой двойник газотурбинной установки на этапе эксплуатации.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, цифровой двойник, эффективность и надежность

## APPLICATION OF INDUSTRIAL GAS TURBINE DIGITAL TWIN

**S. V. Bogdanec<sup>1</sup>, V. L. Blinov<sup>2</sup>, A. I. Plotnikov<sup>3</sup>, A. D. Kurakin<sup>4</sup>,  
A. A. Lebedev<sup>5</sup>, E. E. Pyaseckij<sup>6</sup>, K. A. Zotov<sup>7</sup>**

<sup>1,2</sup> Ural Federal University named after the First  
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>3,4</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>5,6,7</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> v.l.blinov@urfu.ru

**Abstract.** The paper considers the concept of a digital twin of a technical device and the vision of this issue by various companies. The features of using digital twins of gas turbine plants are analyzed. The main goals and tasks to be solved by the digital twin of the gas turbine unit at the stage of operation are formulated.

**Keywords:** gas turbine, digital twin, efficiency and reliability

Развитие цифровых технологий, таких как численное моделирование, интернет вещей (Internet of Things), большие данные, облачные вычисления, дополненная (виртуальная) реальность, обеспечивают современный процесс цифровизации промышленности. Цифровая трансформация промышленности оказывает влияние на все этапы жизненного цикла продукта: от разработки и производства до эксплуатации и утилизации. Результатом применения цифровых технологий к изделию на различных этапах жизненного цикла является совокупная сущность — цифровой двойник.

На первом этапе развития концепция цифрового двойника была предложена М. Гривсом в 2003 г. в соответствии с его «белой книгой» [1; 2]. Цифровой двойник был определен в трех измерениях: физический объект, цифровой аналог и связь этих двух частей вместе [3]. При этом формирование настоящей концепции реализовано в области жизненного цикла изделия (product lifecycle management, PLM) и предполагает, что взаимодействие виртуального и реального пространств происходят на всех этапах PLM (четыре основных этапа: разработка, производство, эксплуатация, утилизация).

В общем случае цифровой двойник — это виртуальная модель изделия, которая постоянно корректируется и достоверно предсказывает его поведение в течение всего жизненного цикла. По причине новизны понятия, отсутствия общепринятой терминологии и универсальности термина возникает его разночтение. Свое видение рассматриваемого вопроса существует у различных компаний из разных сфер.

Согласно работе ученых Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), основная цель цифрового двойника заключается в снижении денежных и временных затрат на проектирование и производство высокотехнологического конкурентоспособного изделия [4]. Цифровой двойник в таком понимании основывается в первую очередь на использовании высокоточных трехмерных программ физического моделирования.

По мнению исследователей Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration, NASA), цифровой двойник — это интегрированное мультидисциплинарное, разномасштабное, вероятностное моделирование агрегата или системы [5]. На основании накопленной информации с датчиков реальных объектов цифровой двойник должен создавать продолжительный прогноз ресурса работы агрегата или системы. Кроме того, с помощью предсказания отклика системы цифровой двойник может предупреждать режимы, которых не было ранее. Также цифровой двойник, по версии ученых NASA, должен обладать способностью уменьшать повреждение и деградацию технических параметров с помощью подключения механизмов самолечения или использования рекомендательных изменений в режиме работы агрегата.

Целью цифрового двойника от компании Siemens [6] является получение более глубокого понимания и предсказание характеристик производительности изделия. Цифровой двойник в таком случае необходим на протяжении всего жизненного цикла продукта, чтобы моделировать, прогнозировать и оптимизировать изделие и систему его изготовления до момента вложения ресурсов в физический прототип изделия. Компания выделяет цифровой двойник продукта, производства и эксплуатации.

В понятие цифрового двойника исследователи компании ANSYS закладывают три базовые идеи [7]. Во-первых, у цифрового двойника обязательно должен быть реальный работающий прототип. Во-вторых, должно быть полное соответствие конкретного цифрового двойника своему конкретному физическому аналогу. В-третьих, должны существовать набор датчиков для измерения физических величин и возможность дальнейшей передачи их в цифровой двойник. Эту задачу может выполнять промышленный интернет вещей и мультифизическая симуляция.

В рамках настоящей работы проанализированы возможные особенности разработки и применения цифровых двойников газотурбинных установок (ГТУ), что позволило выделить несколько основных целей и задач, которые должен решать цифровой двойник ГТУ на этапе эксплуатации.

Основной целью применения цифрового двойника ГТУ на этапе эксплуатации может стать повышение эффективности и надежности эксплуатации оборудования за счет возможности прогнозирования его работы. Основные задачи, которые возможно решить на осно-

ве технологии цифровых двойников: 1) повышение надежности ГТУ и увеличение ее ресурса за счет увеличения наработки при своевременном проведении технического обслуживания по состоянию (в отличие от технического обслуживания по наработке); 2) предсказание и предупреждение повреждений элементов и узлов ГТУ, снижение числа аварийных остановов в эксплуатации; 3) повышение эффективности ГТУ с применением индивидуальных рекомендаций по режимам эксплуатации; 4) повышение уровня обслуживания в эксплуатации через обеспечение и своевременную доставку необходимых запасных частей для сокращения простоя ГТУ в ремонте; 5) формирование направлений модернизации оборудования за счет отработки технических решений в виртуальном пространстве.

### Список источников

1. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication [Electronic resource]. 2015. URL: [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication) (date of access: 25.11.2020).
2. Tao F., Zhang M., Nee A. Y. C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2019. 282 p.
3. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt) [Electronic resource] // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches / ed. F.-J. Kahlen, Sh. Flumerfelt, A. C. Alves. Springer, 2017. P. 85–113. DOI: 0.1007/978-3-319-38756-7\_4 (date of access: 25.11.2020).
4. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (сентябрь 2019 г.) / А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 62 с.
5. Glaessgen E. H., Stargel D. S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U. S. Air Force Vehicles [Electronic resource] // Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012. DOI: 10.2514/6.2012–1818 (date of access: 25.11.2020).
6. DigitalTwin [Electronic resource] // Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465> (date of access: 25.11.2020).
7. Брук П. А. Цифровые двойники, основанные на симуляции мультифизических процессов // САПР и графика. 2019. № 7 (273). С. 24–26.